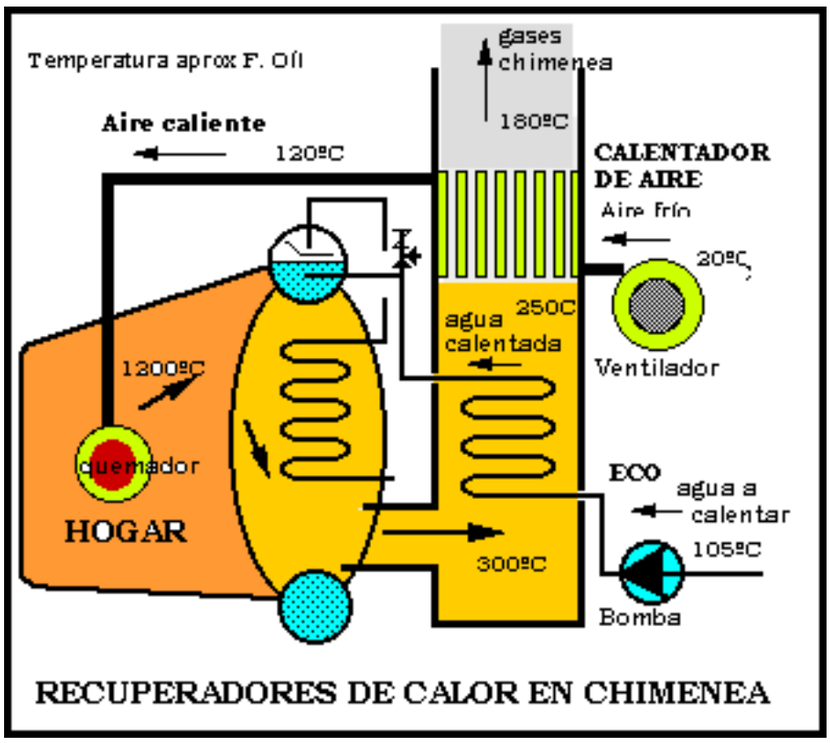
Modulo 9-MEJORANDO LA EFICIENCIA

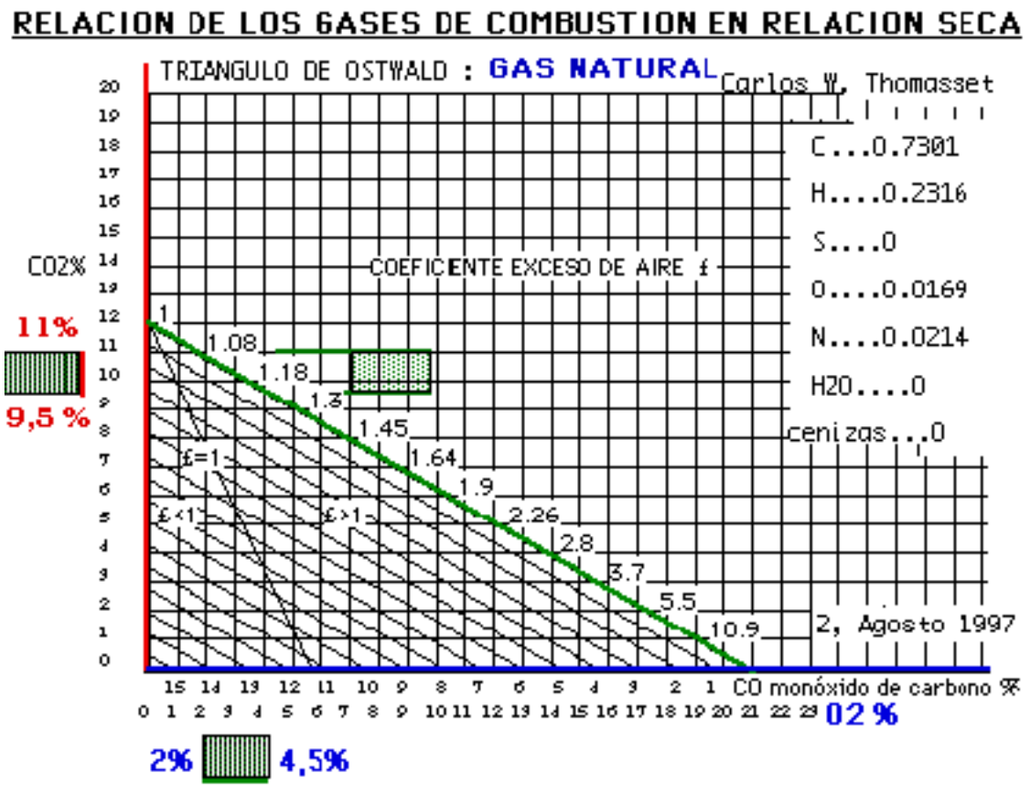
MEJORA DE LA EFICIENCIA

Una de las mejoras de la EFICIENCIA en las calderas, es bajar la temperatura de chimenea, lo cual hace al aumentar la Eficiencia de Combustión y Transferencia y por lo tanto la Eficiencia Total. Esto depende de las superficies de transferencia y tiene un límite rentable en la fabricación de la caldera debido al salto térmico entre la temperatura interna del agua y el vapor de la caldera (ambos a la misma temperatura), **con los gases ya casi fríos a la salida de la caldera** (actualmente, este salto térmico se limita cuando la caldera llega a 100x100 de su capacidad a casi más de 50ºC, valor que en calderas más antiguas era de más de 100ºC). **Esto hace que ya no sea rentable la fabricación de una caldera con mayor superficie de recuperación. De allí en adelante se recurre a otros métodos, utilizando recuperadores de calor** (economizadores o calentadores de aire) **cuyo salto térmico vuelve a ser importante ya que se utilizarán fluidos a menor temperatura que los gases de la chimenea a la salida de la caldera.**



Cuando se aumenta la Eficiencia bajando el exceso de aire, además de no perder calor en calentar un aire que no se utiliza, también se mejora porque baja la temperatura de chimenea (hay un tiempo mayor de transferencia, a pesar de que el coeficiente de transferencia baja por bajar la velocidad de los gases).

Modulo 9-MEJORANDO LA EFICIENCIA



Pero en la combustión a gas natural y otros gases, lo realmente tentador, además de lo dicho, es la posibilidad de bajar la temperatura de chimenea a valores muchos más bajos que de los combustibles líquidos y aún, los de la leña (celulósicos)**.** Este calor de chimenea, con un alto salto térmico, se podrá utilizar tanto en recuperadores de calor para el calentamiento de aguas, aires, etc. y en muchos casos hasta la **utilización directa de los gases de chimenea** sobre el proceso (cuando la contaminación no sea un problema, ya que por lo general los gases no tendrán azufre (SO2 ó SO3), pero si hay mala combustión, habrá elementos contaminantes (gases ácidos orgánicos y otros).

Si consideramos el problema del azufre y otros gases “corrosivos” (que aparecen en leña u otras biomasas como la cáscara de arroz que también tiene algo de azufre), **podemos en forma general recuperar en los gases de chimenea el calor hasta las siguientes temperaturas en forma general:**

a-Fuel Oíl (pesado y calefacción) **bajar la temperatura hasta unos 160ºC a 180ºC** (dependiendo del % de azufre) **con material ferrosos y más bajo con materiales especiales.**

b-En leña (eucaliptos) **podemos bajar la temperatura de los gases a unos 80ºC** (temperatura de rocío de una leña con 25% a 30% de humedad base húmeda) **con materiales ferrosos y más bajo con materiales especiales.**

c-Con cáscaras de arroz, la temperatura de gases se puede bajar a unos 140ºC con materiales ferrosos, pero tenemos el tema de el “erosión-corrosión” (la ceniza de la cáscara que es arrastrada por los gases estimulan una corrosión química con la erosión que provoca la sílice de la ceniza a alta velocidad, por eso estos gases deben manejarse a más baja velocidad que los otros gases).

d-Con gas natural, se puede trabajar hasta unos 80ºC a 100ºC, con materiales ferrosos (ya que hay un punto de rocío en ese entorno por el agua de combustión del hidrógeno), **pero con material especiales se puede hasta aprovechar el calor latente de este vapor de agua en la chimenea** (o sea el calor de vaporización del agua de combustión que es una cantidad muy importante de como **540 Kcal/kg. de agua**). La corrosión aparece en el punto de rocío por el solo simple hecho de ser agua condensada saturada con gases que le bajan el PH, lo que la vuelve muy corrosiva y se puede agravar debido a la presencia de óxidos nitrosos y otros gases piroleñosos de la mala combustión que se pueda producir.

Modulo 9-MEJORANDO LA EFICIENCIA

Una vez que tenemos la caldera, en algunos casos podemos bajar la temperatura de chimenea, mejorando ciertas condiciones, pero como primera condición, bajando el exceso de aire, los otros procedimientos serán :

1- buscando que la combustión sea lo más próximo al punto de partida o quemador (o sea que la llama no sea demasiado larga en el hogar para tener mayor posibilidad de transferencia y que la llama entregue su calor), **2-** poniendo **retardadores o torbellinos en calderas humo-tubulares** (**en el caso de los retardadores** mejoramos la transferencia al acelerar los gases sobre las superficies de transferencia y también al hacer que los retardadores al tomar temperatura puedan irradiar estas sobre las superficies de transferencia, mejorando con ello la misma- no olvidar que en el interior de los tubos la transferencia por lo general es más por conducción y convección, siendo mínima la de irradiación, **en el caso de los torbellinos** la mejora de transferencia es porque aceleramos el impacto de los gases sobre las superficies de transferencias, mejorando el coeficiente de transmisión, en algunas de estas calderas, la falta de los torbellinos por deterioro puede hacer que la pérdida sea hasta más del 20%).

En algunos casos, **especialmente en calderas acuo-tubulares,** se podrá disponer de **baffles o tabiques** que obliguen a los gases a buscar la mejor forma de transferencia térmica, pero esto se debe estudiar cuidadosamente para evitar una alteración de la circulación interna del agua de la caldera o un recalentamiento local.

Esto demuestra la importancia de tener un termómetro de chimenea, que permita monitorear la temperatura de los gases expulsados, ya que esta temperatura estará indicando todo aquel problema de eficiencia como : superficies sucias, retardadores o torbellinos faltantes, tabiques en mal estado (se cortocircuitan los gases, by-paseando parte de la caldera)**, etc. Quedando solamente el exceso de aire y los gases “no quemados”** (también el hollín a monitorear con una bomba de hollín tipo BACHARACH®) **para monitorear con equipos de control de gases. En el caso del hollín, al ensuciarse las superficies de intercambio, el termómetro lo indicará al aumentar la temperatura de chimenea con una misma carga** (las pérdidas en este caso serán de valores muchas veces alto, muchas veces más de 10%).

No debemos olvidar que las calderas se “aislan” también sus superficies de transferencia desde el lado del agua (debido a incrustaciones y barros, aunque esta la aislación no es tan notoria como la del hollín, **se producen lentamente y acumulativamente en el tiempo, y su mala presencia significa el riesgo de que se recalienten las superficies de transferencia y se quemen** (reventando tubos en las caldea acuo-tubulares o fisurando placas, hogares y tubos en las calderas humo-tubulares), aunque las pérdidas por incrustaciones por lo general no son muy demostrativas en los gases de chimenea, menor al 10%, que por lo general son de menor cuantía a las que producen el hollín. Por esta última razón, las calderas deben “abrirse” y “manguerearse una vez cada tanto (dependiendo de la calidad de agua a reponer y del tratamiento químico, **podrán abrirse una vez cada 6 meses y no más de un año**, **para poder limpiar las superficies internas de barros o hacer limpieza químicas si fueran incrustaciones duras**, pero además esto nos permite mantener una “vigilancia” del estado interno de la caldera y evitar que la acumulación provoque un accidente por recalentamiento que puede ser peligroso y muy caro, además se pueden observar problemas de corrosión por la presencia de contaminantes, por ejemplo como el cloro que se usa para desinfectar el agua en algunos tipos de plantas de proceso, sumamente corrosivo para la caldera si penetra en esta).

2-La instalación de recuperadores de calor, la instalación de economizadores (calientan agua de alimentación o para otros usos), **calentadores de aire** (para combustión de la propia caldera o para utilización en la planta). **Es evidente que aquí se deberá estudiar el problema de corrosión** (con los F. Oíl pesados y derivados del mismo, que contienen azufre, la temperatura del hierro en contacto con los gases debe ser estudiada, generalmente los gases no se podrán bajar de 160ºC ó 180ºC, dependiendo del tenor de azufre,

en otros combustibles se puede trabajar con temperaturas mucho más bajas, e inclusive con la **combustión de los gases** se puede **aprovechar hasta el calor latente del agua formada en la combustión**). En leña, si hay buena combustión, la temperatura se puede bajar hasta casi los 60ºC. Y en gas natural, utilizando metales especiales o cristal, se pueden aprovechar el calor latente del agua que va en los gases, que puede ser un valor importante.

En este caso, un calentador de aire en una caldera, puede mejorar la Eficiencia de dos maneras, en el calor aportado a la cámara de combustión (se suma al calor liberado por el combustible), **pero en algunos casos se logra mejorar la combustión** (especialmente en los celulósicos como la leña en rolos de eucaliptos).

3-La sala de calderas juega un papel importante, ya que si es posible alimentar el aire de combustión lo más caliente posible, **no tomando el aire exterior, sino el aire interior de la sala de caldera, que ya se encuentra caldeado por las pérdidas de calor de las calderas y los accesorios que conducen el vapor o el agua caliente,** no solo mejora la combustión al tener la llama mayor temperatura, sino que es calor que se suma al calor generado por el combustible. Este calor si bien puede ser recuperado de los gases de chimenea, que de los contrario es un calor perdido (a través de equipos recuperadores de calor, teniendo cuidado de no bajar la temperatura de los gases por debajo de la mínimo en que se produzca corrosión debido a la condensación de los ácidos y la humedad de los gases).

De todas maneras es una práctica importante : aprovechar el calor perdido en la sala de calderas, tomando dicho aire ambiente y no el aire frío exterior.

Si en la sala de caldera la succión del ventilador provoca ruidos en exceso, **es mejor disponer de un silenciador que tome los aires de la sala** y no tomar el aire frío exterior (que en invierno puede ser casi 0ºC, provocando mala combustión y especialmente generando una pérdida medible).

TODA PERDIDA DE VAPOR O AGUA (SEA FRIA O CALIENTE, COMO EN LAS EMPAQUETADURAS DE LAS BOMBAS) SON PERDIDAS QUE DEBEN CONTROLARSE POR MEDIO DEL MANTENIMIENTO ADECUADO. LAS PERDIDAS POR FALTA DE AISLACION O MAL ESTADO DE LA MISMA TIENE VALORES MUY IMPORTANTES. LAS VALVULAS QUE NO SE AISLAN REPRESENTAN UN VALOR MUY IMPORTANTE DE PERDIDA.

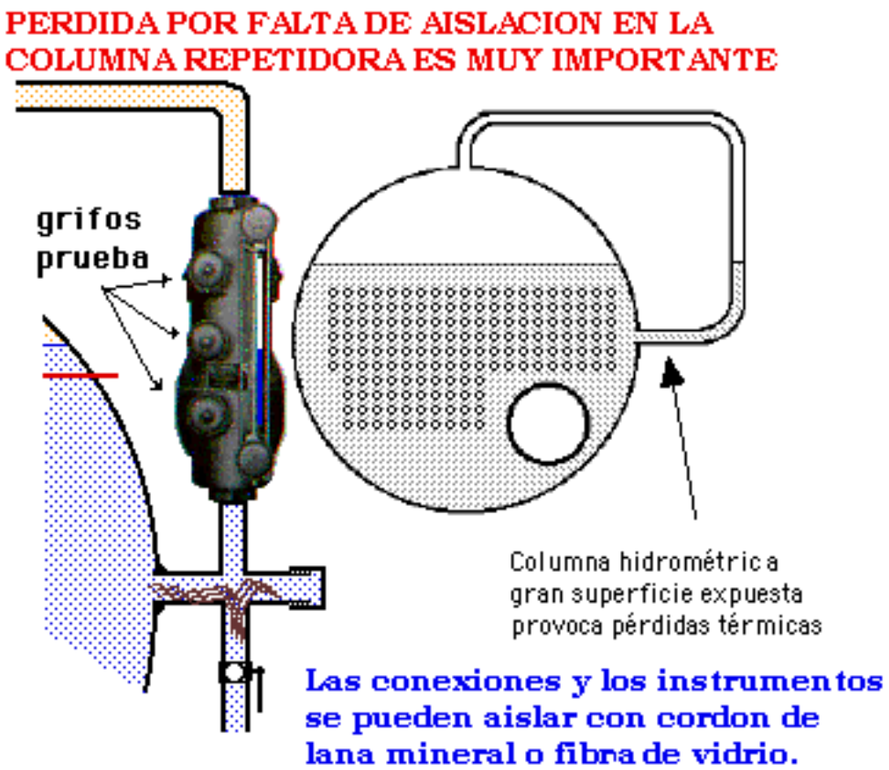
Modulo 9-MEJORANDO LA EFICIENCIA

CALOR PERDIDO EN LA CALDERA COMO EQUIPO TÉRMICO

Si bien en la caldera, tenemos las **pérdidas provocadas por las purgas** (que estudiaremos en el próximo bloque), tenemos las pérdidas propias de todo equipo de vapor que tiene conexiones, por las cuales se pierde vapor (platinas, roscas, vástagos de válvulas y la propia aislación por buena que esta sea).

Tenemos pérdidas térmicas directas, a través de la aislación (que generalmente comprende la envuelta en las calderas humo-tubulares y los “casing” o cuerpos en las calderas acuo-tubulares), **pero conectado a la caldera tenemos una cantidad de accesorios** (válvulas, conexiones, columna hidrométrica, válvulas de seguridad, etc.) **que serán verdaderos “robadores” de calor.**

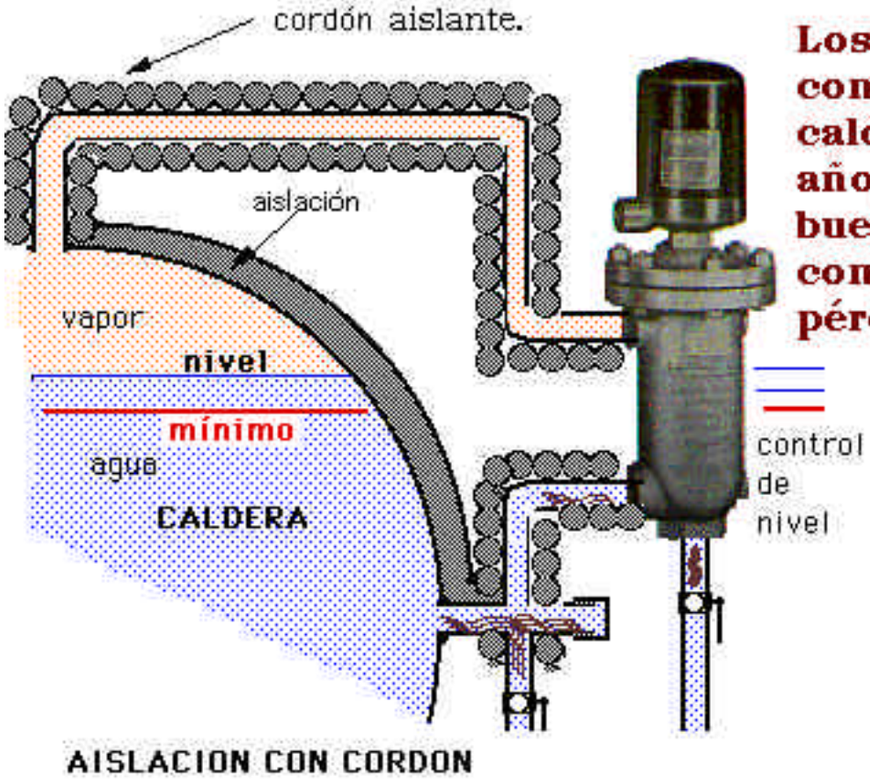
Ahora están de moda en las calderas humo-tubulares, grandes columnas repetidoras de nivel (columnas hidrométricas de 4” o más, que tienen forma de **C** , lo que hace que el largo sea de más de 1,5 m. o botellones repetidores de un diámetro de más de 8”, **si calculamos la superficie expuesta al ambiente**, con el salto térmico del correspondiente vapor saturado, sometidos a dicha temperatura todo el tiempo que la caldera está prendida, **veremos que al cabo de un año, probablemente, la pérdida térmica nos ha costado mucho más de U$S 100/año.**


PERDIDA POR FALTA DE AISLACION EN LA COLUMNA REPETIDORA ES MUY IMPORTANTE
grifos prueba
Columna hidrométrica gran superficie expuesta provoca pérdidas térmicas
Las conexiones y los instrumentos se pueden aislar con cordon de lana mineral o fibra de vidrio.

Considerando en la actualidad la importancia del ahorro energético (por muchas razones), **creo que es hora de que tomemos en consideración dichas pérdidas,** o eliminando superficie (poniendo conexiones directas de menor dimensión) **o aislando dichos elementos,** con lana mineral u otros, con sus forros correspondientes.

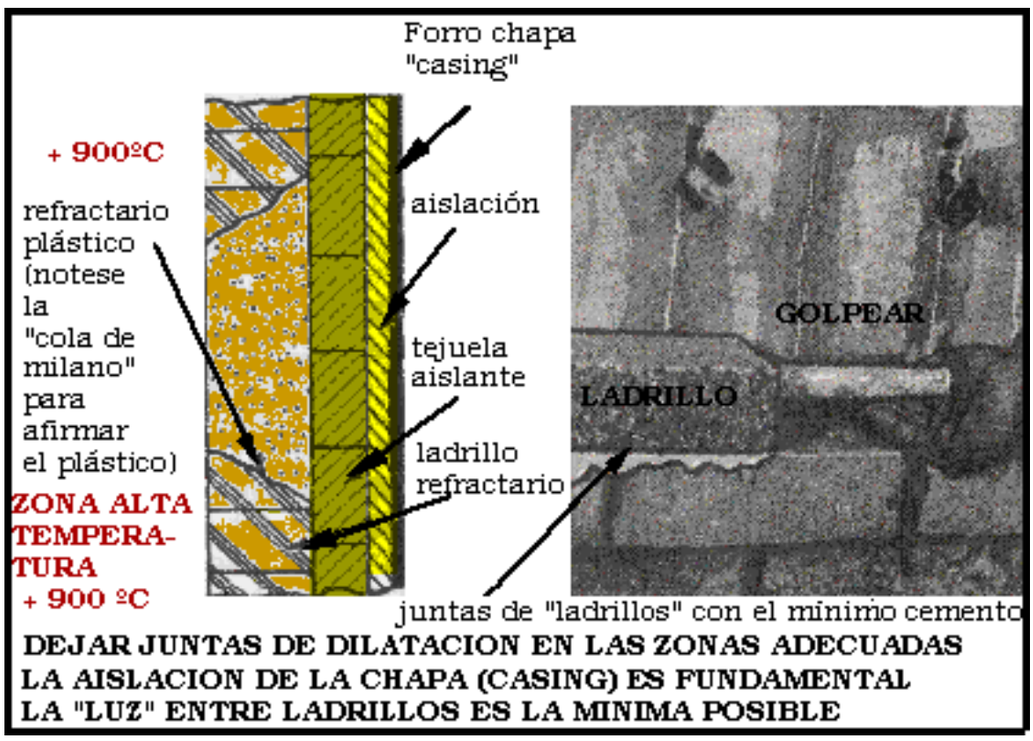
En el caso anterior, si suponemos en la columna hidrométrica un Ø100 mm. y un largo de 1.500 mm, con la caldera a 10 Kg/cm2 (la temperatura será de 183ºC en el interior de la columna y en el exterior tomemos 30ºC, será un salto térmico de 150ºC), podemos estimar una pérdida por cada m2 y cada 1ºC de 15 Kcal por hora (15 Kcal/m2./ºC/h, aire suave de sala de caldera, aumenta la pérdida con la velocidad del aire), dado que la superficie expuesta es 0,47 m2, tendremos un pérdida horaria de 0,47x15x150=1.057 Kcal/hora. **Si calculamos en combustible por hora, esta pérdida en F. Oíl será 1.057/9700/0,85= 0,128 Kg. de F. Oíl/h** (al cabo de un año de 340 días de trabajo, será 0,128x24x340=1.044 Kg. F. Oíl/año (más de U$S140/año), si a esto sumamos los controles de nivel (2), el nivel visual, los grifos de nivel, las válvulas de purgas, seguro que duplicamos la pérdida anual (es evidente **esta situación algún día debe de cambiar**). Quizás una manera de aislar en forma simple, sea

enrollar un cordón o cuerda floja (de fibra de roca) de 1”, apretada, de manera de que queden las superficies cubiertas, dejando los otros elementos aislados con una manta de material aislante, de fácil desmontaje para el servicio.



Los accesorios de control de una caldera, al cabo del año, consumen una buena parte del combustible, una pérdida evitable.

Ninguna parte en contacto con el vapor o el agua de caldera, debe dejarse sin aislar, salvo las zonas dispuestas para disipación, generalmente en los cuellos de los controles de nivel.



Modulo 9-MEJORANDO LA EFICIENCIA

El cuerpo de las calderas (que de un lado hay agua o vapor) **se puede aislar todo lo mejor que se pueda** (lana mineral o lana de vidrio, ambas de no menos de 3”). **Lo que no se puede aislar en los cuerpos de las calderas son las zonas que están en contacto con los gases por medio de refractarios** (solo se pueden aislar entre el refractario y la chapa de metal del “casing” con material de cerámico aislante, una especie de ladrillo o tejuela muy “porosa”) y entre esta última y la chapa de material de hierro se puede poner algún cartón o manta de fibra de lana mineral para aislar y proteger a la chapa de metal del calor). **Si aislamos estas zonas “secas”, del lado de afuera del “casing”** (chapa de sello), **lo que lograremos es que la chapa de metal que hace de sello y a veces hasta de soporte, tome una alta temperatura por la pérdida del material refractario y aislante, hasta que el material de hierro se quema** (esto puede ser muy peligroso, ya que si es la estructura que soporta la caldera, puede producir un accidente).

En cuanto a las válvulas de seguridad, se podría aislar hasta las platinas, dejando sin aislar las cajas o si hubiera un “cuello” con disipación para mantener los resortes a la más baja temperatura posible (para evitar que los resortes pueden perder elasticidad al ser sometidos a alta temperatura, especialmente en los sobrecalentadores).

En cuanto a las válvulas en general, se podrían aislar con una manta aislante, desmontable, que dejen las manivelas de operación del lado de afuera (especialmente las pérdidas de los prensas para que el agua no moje la aislación y aumente la pérdida).

En algunas calderas, se puede aislar la **primera parte del sifón de los controles de presión** (presóstato, aislar hasta el nivel del agua que se condensa en el sifón), porque cuando este sifón sea de gran dimensión y se reponga agua con mucha alcalinidad, la permanente condensación provoca corrosión por el CO2 contenido en el vapor, al aislar disminuye la condensación y hace que haya una menor corrosión (ademas, la constante condensación de vapor en el sifón que desborda hacia la caldera, deja partículas de hierro atacado que pueden tapar los presóstato y con ello provocar una falla). Por esta misma razón no aconsejo dejar que haya pérdidas en los sifones o que se estén purgando innecesariamente (alcanza con purgar una vez cada 3 meses, a baja presión, para no perturbar a los tubos de bourdon de los manómetros o fuelles de los presóstato, al quedar los mismos en contacto directo con el vapor).

SIFON "TAPADO" POR CORROSION (OXIDOS O SALES)

Estos fenómenos anteriores, si bien son difíciles de explicar, se confirman en la práctica, aguas con alta alcalinidad, grifos que pierden o excesos de purgas de los sifones.

Modulo 9-MEJORANDO LA EFICIENCIA

PERDIDAS EN LAS CALDERAS DEBIDO CONDICIONES OPERATIVAS.

1-Pérdidas debido a las válvulas de seguridad en calderas de leña.

En las calderas a leña, la presión de corte (alta presión) se hace cerrando los aires de combustión (bajo grilla) y los tiros inducidos (ventiladores de tiro en chimenea) y eventualmente cerrando algún aire secundario o terciario. **Muchas veces, la inercia operativa o la ineficiencia en el cierre de los aires y tiros, hace que la válvulas de seguridad se “disparen”. Por lo general esto no debe ocurrir en combustibles líquidos y gaseosos que existan presóstato de comando de la presión y el corte de los combustibles, cosa que en la leña el combustible no se puede cortar, está en el interior del hogar.** Como todos sabemos, las válvulas de seguridad de calderas, tienen **una apertura total al llegar a la presión a lo cual están ajustadas** (efecto “pop”), **cerrando luego de que la presión haya bajado por debajo de la presión de apertura, una presión diferencial** (efecto “blowdown”), **esto significa que la caldera debe de bajar la presión : tirando una cantidad importante de vapor** (este efecto de cierre diferencial por debajo de la presión de apertura, por lo general, es una caída de presión, que si no se ajusta, es de más de 2 Kg/cm2), **en muchos casos, se llega a tirar más 1000 Kg. vapor o más si las válvulas tienen un gran diferencial de cierre, dependiendo del tamaño de la caldera** (debido a que las válvulas están en una dimensión correspondiente)**.**

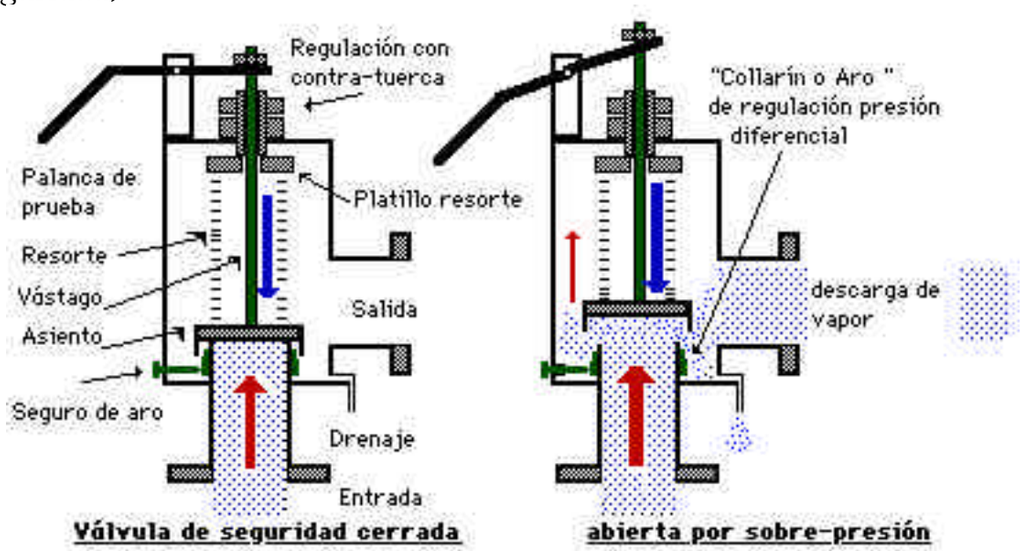
Si ajustamos el cierre diferencial al mínimo, en una caldera a leña, este valor difícilmente se logre bajar a menos de 1 Kg/cm2,

La solución a este problema, para no “tirar” vapor a la atmósfera en exceso, es la instalación de una válvula de alivio (la válvula de alivio tiene un comportamiento diferente, **abre a la presión que se ajusta y cierra prácticamente a la misma presión, por ello no se utilizan como válvulas de seguridad en calderas**, dado que la apertura es proporcional a la presión, lo cual hace que la caldera pueda subir demasiado la presión, cosa que la válvula de seguridad con la apertura total no lo permite).

Esta válvula de alivio, instalada sobre la distribución o colector de vapor, abre los suficiente para aliviar el exceso momentáneo de la presión, evitando tirar grandes cantidades de vapor (si la presión sigue subiendo, abrirían las válvulas de seguridad).

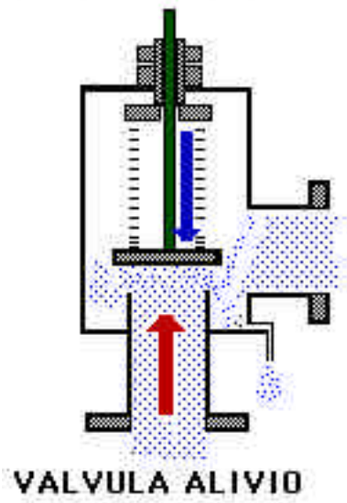
Esta válvula de alivio, de una dimensión mediana, capaz de tirar un 5% al 10% de la producción de vapor, como máximo, por lo general es suficiente, para limitar la presión (con la ventaja que las válvulas de seguridad no están permanentemente disparando y con ello además entrando en pérdida por este mismo exceso de operación, al “rayarse” asientos). **Además, si se abren las válvulas de seguridad, la caída necesaria para lograr cerrar las válvulas de seguridad afectan la presión de vapor, que hace que los procesos en fábrica sufran alteraciones no deseables.**

Esta misma válvula de alivio, se le puede poner una válvula de corte, para poder cambiarla o hacerle mantenimiento en marcha (cosa que no se puede hacer con una válvula de seguridad).



En la figura anterior se muestra una válvula de seguridad en operación y se muestra la forma del

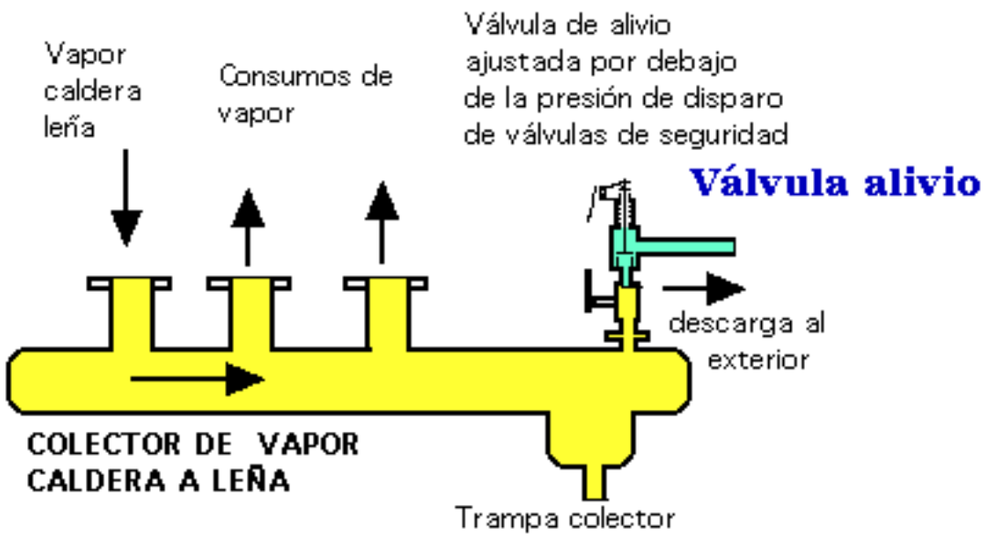
asiento y del aro de regulación que permite que la válvula tenga una apertura total y un cierre diferencial. Las válvulas de alivio, tienen el asiento plano, no hay aro de regulación de cierre, la válvula abre y cierra prácticamente a la misma presión y la apertura es proporcional a la presión ejercida sobre el asiento.



Observar la diferencia constructiva de esta válvula de alivio respecto a las válvulas de seguridad para caldera.

Veamos como instalar una válvula de alivio en el colector de vapor:

En calderas a leña, es un buen negocio poner una válvula de alivio en el colector: abre primero que las de seguridad, si la presión no puede ser dominada, abren las válvulas de seguridad.


Vapor caldera leña
Consumos de vapor
Válvula de alivio ajustada por debajo de la presión de disparo de válvulas de seguridad
Válvula alivio
descarga al exterior
COLECTOR DE VAPOR CALDERA A LEÑA
Trampa colector

La descarga de la válvula de alivio, se conecta al exterior, en una zona libre de peligro, con la cañería bien afirmada y libre de “bolsas” de condensado, para evitar posibles golpes al descargar. La dimensión de esta válvula, está en relación a la capacidad de combustión de la caldera, conviene que no sea de una gran capacidad, ya de que se trata solamente de evitar que suba la presión progresivamente y abra las válvulas de seguridad (que si esto ocurre, se tirará una gran cantidad de vapor, innecesariamente, si existe esta válvula de alivio auxiliar y la presión no se alterará por baja presión). La válvula de corte, entre la válvula de alivio y el colector de vapor, nos permite cambiar la válvula de alivio o repararla (esta válvula de alivio puede ser de asiento de cromo-niquel, ya que su trabajo será de pequeñas aperturas, que tienden a desgastar las superficies de los asientos).

También se puede instalar más de una válvula de alivio, de manera de hacer un ajuste progresivo, de 2 escalones, para evitar de poner válvulas con gran asiento, que tiende a “rallarse”.

Modulo 9-MEJORANDO LA EFICIENCIA

2-Pérdidas provocadas por el manejo del numero de calderas

Si consideramos que las calderas tienen pérdidas térmicas como todo equipo térmico, veremos que la utilización de 2 caldera en vez de una, o de 3 en vez de 2, etc. , **las pérdidas serán mayores.**

Las calderas tienen pérdidas térmicas por el solo hecho de estar con presión de vapor (no importa que produzcan vapor para el servicio, es suficiente que estén a la presión de trabajo o sea, a la temperatura de vapor saturado).

Estas pérdidas térmicas, se producen por el salto térmico entre la caldera y el ambiente, pero además por las filtraciones de aire, aunque la caldera esté períodos apagada y períodos prendida para mantener la presión (hay siempre una depresión en el hogar debido al aire que se calienta al entrar en la caldera y se conduce por el tiro que se produce en la chimenea, lo que hace que se produzcan filtraciones).

Aún, si intentamos mantenerla “caliente” con vapor de otra caldera, **no solamente vamos a tener pérdidas térmicas, sino que es muy probable que si introducimos vapor de otra caldera** (en alguna forma, a veces con las válvulas de “cuello” y colector cerradas, las mismas por lo general pierden y esta pérdida penetra en la caldera “parada”, provocando corrosión) **se provoquen corrosiones en la caldera calentada** (no se debe hacer esta operación, cuando observamos la corrosión muchas veces es tarde, el vapor de por sí es corrosivo por el CO2 ó el O2 que pueda transportar, pero este vapor si se condensa en la caldera parada, se producen diferenciales químicos-físicos, que provocan corrosiones).

3-Pérdida provocadas por salas de calderas inadecuadas.

Si bien la sala de caldera debe ser lo suficientemente ventilada, tampoco es buen “negocio” tener una caldera en pleno invierno sometido al rigor de los vientos helados, se producirían las pérdidas por infinidad de “puentes térmicos”, que muchas veces no es conveniente aislarlos totalmente, nos llevan a un aumento de las pérdidas, ya que el viento hará un enfriamiento directo más allá de lo conveniente. La aislación desmesurada o exagerada en zonas con refractarios, debe hacerse entre los refractarios y el material de metal que oficia de soporte, ya que si se intenta aislar la estructura metálica en la zona de refractario, la estructura tomará la temperatura interna, **más allá de lo que puede soportar, ocurriendo desde corrosión hasta la “quema” o debilitamiento de la estructura.**

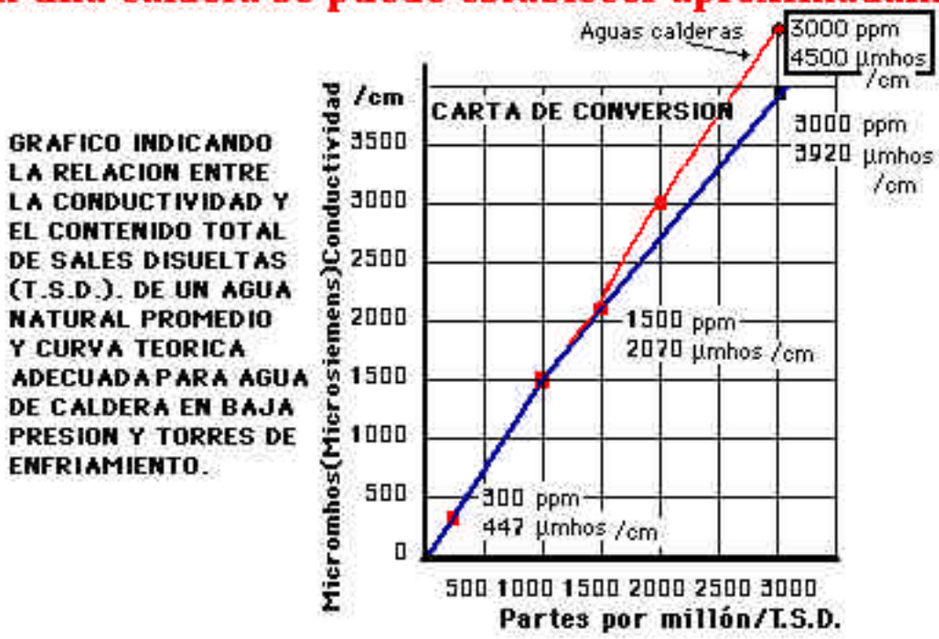
Ejemplo: en una caldera humo-tubular, de fondo seco, la pared posterior del lado del fuego es de refractario, este está en un zona en donde termina la combustión (a veces no ha terminado), la temperatura de los gases por lo general es más de 900ºC, además está expuesto a la “vista” de la llama (hay calor radiante en forma directa, que se suma a la temperatura de los gases, por lo que el refractario tomará una temperatura superior a los 900ºC), entre este refractario y la “chapa” de contención, habrá que poner la aislación, primero un ladrillo aislante que soporte contra la parte de refractario el contacto de la temperatura de 900ºC, luego irá un material de lana mineral (y/o cartón de amianto, este último es cuestionado por cancerígeno) **. El contacto del ladrillo aislante y el metal, se puede aumentar su aislación, pero del lado de la atmósfera** (entre el metal y el ambiente de la sala de caldera) **no deberá ponerse ningún tipo de aislante, porque esto provocaría el recalentamiento del metal, ya que la pérdida de calor, aunque pequeña y en forma lenta, iría provocando el recalentamiento del metal al no poder enfriar el metal con el aire de la sala.** Aislar este fondo seco, desde el exterior, parece tentador hacerlo, pero seguro que “quemarán” el metal de la caldera, siempre debe haber una pérdida de calor, para que exista un gradiente, en el cual el metal estará un poco por encima de la temperatura ambiente. Por ello si queremos mejorar la aislación de esta zona, es conveniente utilizar otros métodos (fondo húmedo con pared de tubos, o más larga la caja de humos y con más ladrillo aislante después del refractario, etc).

Lo que queda claro, que el material refractario cumple una función de refracción (soporta la temperatura y el ataque químico de la combustión, de acuerdo a su composición, permite una “cierta aislación” en la que nos permite poner materiales aislantes, que si estos no estuvieran, las pérdidas serían enormes, el metal no lo soportaría, etc.).

Modulo 9-MEJORANDO LA EFICIENCIA

4-Pérdidas relacionadas con el agua de alimentación (agua de reposición)

Cada sal tiene una conductividad diferente, el promedio de sales en una caldera se puede establecer aproximadamente.



El agua de alimentación juega un papel importante en la Eficiencia de la caldera (y la seguridad), evidentemente que el agua **cuanto más caliente más fácil será llegar a su temperatura de evaporación en el interior de la caldera** (hay calor agregado, tal es así cuando calculamos la Eficiencia Total de la caldera, el calor aportado por el agua de alimentación la descontamos del calor total del vapor, siendo la referencia inicial la temperatura de **0°C**, tanto para el calor del vapor como del agua).

Cuanto menor sea su tenor de sales, menor será la necesidad de purgar para mantener los límites de salinidad (T.S.D. o sea Total de Sales Disueltas, Alcalinidad, Sílice, etc.). **Esto** (purgar) **significa perder** (si no se recupera el calor) **agua a la temperatura del vapor saturado** (presión de trabajo de la caldera, un calor que afecta la Eficiencia de la caldera en forma muy importante), **además de la propia agua** (que tiene un costo importante, fundamentalmente de tratamiento químico, ablandamiento más productos químicos).

Esto nos lleva a que siendo el condensado un agua “caliente y sin sales”, será la mejor agua de alimentación de caldera. (Resolviendo adecuadamente los problemas de corrosión).

Como el condensado generalmente se pierde en buena parte, si la instalación no es adecuada, habrá que **reponer una parte del agua** (aún cuando haya una recuperación teórica del 100% del condensado, la necesidad de purgar la caldera por razones de seguridad, obligara a una cierta reposición del agua de caldera). **Generalmente la reposición dependerá de la calidad de esta agua, del tipo de planta y de la instalación** (o lo que han sido capaces los técnicos que la diseñaron para la recuperación de condensado).

El condensado no solamente se pierde por las pérdidas tan comunes (prensas de válvulas, platinas o roscas con pérdidas, prensas de bombas, etc.), sino que en algunos procesos se mezcla (**vapor directo**) con el producto a procesar (en este caso la Eficiencia del sistema, por el condensado caliente, no baja debido a que el calor se aprovecha totalmente, pero **baja al perder agua libre de sales**), en otras por ser **“peligroso” el condensado por provenir de intercambiadores que pueden contaminar gravemente** el agua de caldera, se tira (caso muy importante en la calefacción del Fuel Oíl pesado y otros), **pero además, el condensado se pierde aún cuando se recupera por lo que se da en llamar vapor de “flash”** (salvo que se prevea su recuperación).

Modulo 9-MEJORANDO LA EFICIENCIA

La producción del vapor de "flash" depende de la presión de trabajo del sistema, a mayor presión, aumenta el "flash" Utilizar las tablas de vapor para el cálculo del vapor de "flash".

El vapor de “flash” se produce debido que el agua sale de las trampas de vapor a la temperatura del vapor saturado o un poco menos (depende del tipo de trampa e instalación o proceso), y este al entrar **en contacto con una presión menor**, **se reevaporiza** (evapora hasta la presión de equilibrio, tomando el calor del agua sobrecalentada, a la nueva presión de saturación, con el ambiente en que se encuentra, generalmente próximo a la presión atmosférica), **si este vapor escapa a la atmósfera, será calor perdido sin recuperar y con ello el agua del mismo**. **El calor del vapor de “flash” es muy importante, por cada 1 Kg. de vapor se pierden en el calor latente 540 Kcal** (más que si el vapor estuviera a 10 Kg/cm2, ya que ese vapor tiene un calor “latente” en su expansión, pero el calor del vapor a 10 Kg/cm2 tiene más calorías por Kg. de vapor debido a que tiene un calor “sensible” superior al vapor de “flash”, cuya tempera es por el entorno de los 100ºC (100 Kcal/kg. calor “sensible”) y el agua caliente saturada a 10 Kg/cm2 es de 183ºC (185 Kcal/kg calor “sensible”), pero su calor “latente” es de 478 Kcal/kg., la suma de ambos llega a superar el vapor de “flash” a la presión atmosférica, siendo de 664 Kcal/Kg a 10 Kg/cm2 contra 638 Kcal/kg con el vapor a 100ºC).

O sea, el **vapor de “flash”** tiene una **doble pérdida**, **el calor que lleva consigo y el agua** (condensado en forma de vapor o sea, agua pura).

Modulo 9-MEJORANDO LA EFICIENCIA

TABLA DE VAPOR SATURADO

Tanque alimentación

diferencia de condiciones

cañería de vapor

presión	temperatura	calor total	calor agua	calorvapor
ATA	Cº	Kcal/Kg .	Kcal/Kg .	Kcal/Kg .
0.05	32.55	611.3	32.55	578.9
0.20	59.67	623.1	59.61	563.5
0.50	80.86	631.6	80.81	550.8
1.00	99.09	638.5	99.12	539.4
2	119.62	645.8	119.87	525.9
3	132.88	650.3	133.40	516.9
4	142.92	653.4	143.60	509.8
5	151.11	655.8	152.10	503.7
6	158.08	657.8	159.30	498.5
7	164.17	659.4	165.60	493.8
8	169.61	660.8	171.30	489.5
9	174.53	662.0	176.40	485.6
10	179.04	663.0	181.20	481.8
11	183.20	663.9	185.60	478.3
15	197.36	666.6	200.60	466.0
20	211.38	668.5	215.8	452.7

Diferencia de calor en el agua 185,60 - 99,12= 86,48 Kcal/kg.
Se vaporizan 86,48/539,4 = 0,160 Kg. de condensado.

En la tabla de vapor saturado anterior, hemos marcado la presión atmosférica ó **O Kg/cm2 manométrica** o **absoluta 1,033 Kg/cm2** (**tomándola como 1 Kg/cm2 como presión absoluta o ATA**) . Y una presión de **2 Kg/cm2** manométrica o relativa (**3 Kg/cm2 ATA**) para el caso de un sistema de una **recuperación de vapor de “flash” en un balón de recuperación** (el agua sobrecalentada es descargada a un balón de 2 Kg/cm2 manométrica, para que se produzca un vapor de “flash” que se pueda utilizar como vapor de baja) y hemos marcado la presión **manométrica de 10 Kg/cm2**, valor promedio de marcha de muchas calderas en plaza. Veamos que podemos hacer con este vapor o calor de “flash” o agua sobrecalentada, para la recuperación de su calor.

Cálculo del vapor de “flash”:

En la tabla anterior, hemos puesto como ejemplo una presión de vapor de caldera : **de 10 Kg/cm2** (11 ATA ó 11 Kg/cm2 absolutos, tomando **la atmósfera como valor práctico igual a 1 Kg/cm2 ATA** , a los efectos del cálculo), la presión de vapor relativa, como en la tabla está en **ATA** (atmosfera técnica absoluta), o sea presión absoluta en **atmósfera técnica absoluta**, que es lo mismo que decir en Kg/cm2 absolutos, para entrar **en la tabla hay que sumar una atmósfera a la presión relativa o manométrica** (que es la presión que por lo general indican los manómetros o “gauge” en inglés).

En esta presión de 10 Kg/cm2, el vapor saldrá como agua condensada en una trampa (que trabaje con el serpentín con una trampa que desaloje todo el condensado apenas se forma y con la presión constante de 10 Kg/cm2 manométrico), el agua condensada saldrá **una temperatura de 183ºC, lo que nos dice que tiene un calor con referencia a 0ºC de 185 Kcal/Kg, cuando el vapor tiene 664 Kcal/Kg de calor total** (esto dá un calor aprovechable de 664-185 = 479 Kcal/Kg. calor latente del vapor) esta agua con 185 Kcal./Kg. al entrar en el sistema de condensado baja a una presión casi igual a la atmosférica, por lo cual **su temperatura bajará a 100ºC, dicha temperatura bajará por la reevaporación del agua al nuevo estado de equilibrio, esto es el vapor de “flash”** (el agua a 1 atmósfera, 100ºC, prácticamente tiene 100 Kcal/Kg., esto significa que se reevapora tomando la siguiente cantidad de calor 185 - 100 = **85 Kcal/Kg.**).

Estas **85 Kcal/Kg. se pierden como vapor a la atmósfera o se recupera de varias maneras** (si calculamos esta pérdida, suponiendo que recuperamos el condensado de 183ºC , **el % de pérdida sobre el vapor será** : **85/479 x 100 =17,7 %** (en combustible que se pierde

sino se recupera de alguna forma, unos 85/9700/0,85= 0,010 Kg F. Oíl/Kg de vapor y en leña con 25% H.b.h es de 85/3.000/0,80= 0,035 Kg. leña por kg. de vapor).

Además si consideramos que también perdemos el agua que se reevapora :

85 / 540 = 0,157 Kg. de agua, o sea 0,157 / 1 x 100 = **15,7% del agua perdida por el “flash”.**

Por lo que la recuperación ideal, será recuperar el agua y el vapor de “flash”, el 100%.

a- En la práctica esto se puede hacer **con un sistema auxiliar que enfrie el agua del tanque de alimentación** (siempre y cuando haya una consumo de calor cuyo diferencial pueda ser aprovechado, como el calentamiento de agua fría, aire, etc. **o que haya una reposición de agua fría que debamos calentar a 100ºC** para alimentación de caldera) **, haciendo barbotar el vapor de “flash”, para que al mezclarse con el agua del tanque de alimentación, se condense, recuperando el calor y el agua.** Ver más adelante un croquis.

b-También se podría canalizar todo el flujo de condensado presurizado, a un **intercambidador de tubos o placas, que caliente un fluido por debajo de los 70ºC aprox.** En este caso podemos aprovechar el 100% del calor y el agua).

c- O podremos aprovechar parte de este vapor de “flash”, reevaporando a una presión de vapor menor a la de la salida del condensado, utilizando este vapor de baja en usos donde el vapor sea requerido y la presión sea adecuada (en este caso, cuanto más baja sea la presión, mayor será la recuperación del vapor de “flash”, pero no olvidar que debemos tener una presión para su utilización). **Pero, como veremos, no hay una recuperación del 100%.**

El ejemplo que hemos puesto, es “flashear” a una presión manométrica de 2 Kg/cm2, es este caso tendremos que la temperatura pasará de 183ºC a 132ºC, y el calor de vapor de “flash” que recuperaremos será 185 - 133 = **52 Kcal/Kg**. contra **85 kcal/Kg**. que se perdían o sea que en este caso la recuperación será :

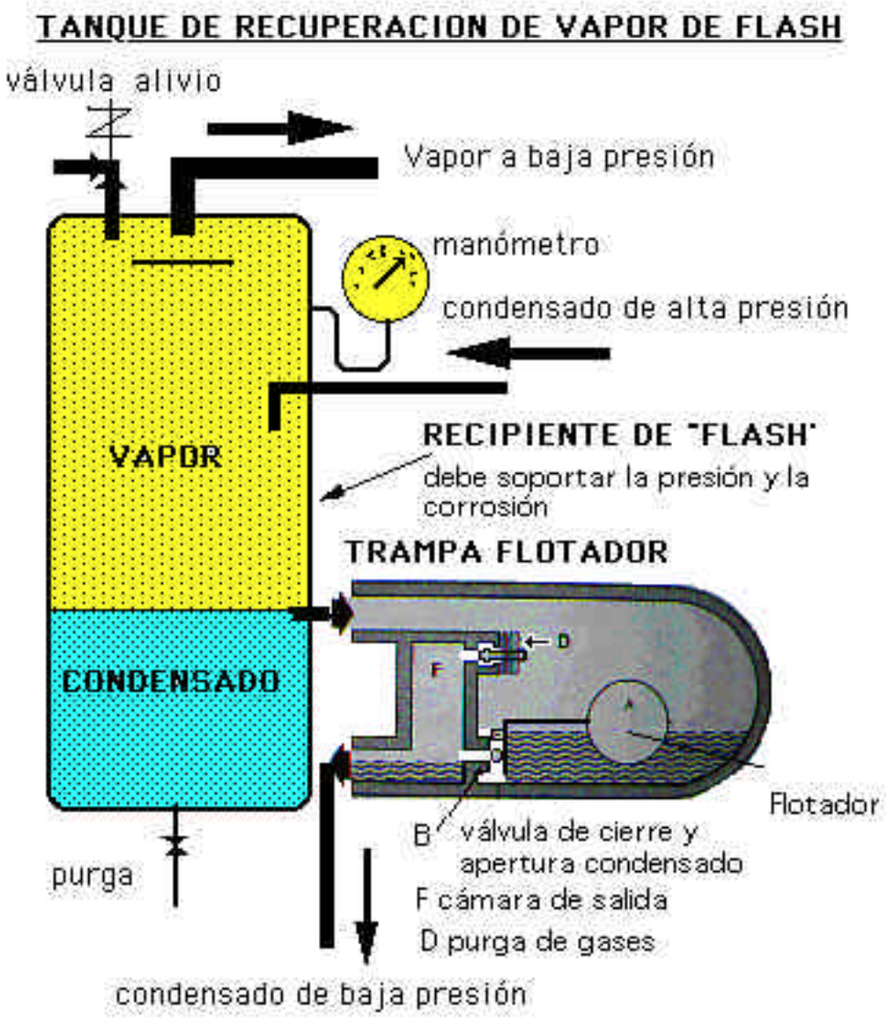
52/(478+185) x100 = **7,8% cuando si se recupera el 100% del “flash” total era del 12,8%** (no estamos considerando el agua, solo el calor del “flash”).

En este caso **no recuperamos el 12,8% - 7,8% = 5% que se pierde todavía como vapor de “flash”, además a su vez este vapor de “flash” de 2 Kg./cm2 tendrá una pérdida de vapor de “flash”** (133 - 100 = 33 Kcal/ Kg) .

Por lo que este sistema resulta atractivo solamente para recuperación de vapor de “flash” cuando la presión de trabajo es alta y se necesita vapor de baja. **Queda pendiente la recuperación de parte del agua.**

En la figura inferior: hemos hecho el croquis de un balón recuperador de “flash”. La dimensión y la separación entre el agua y el vapor, es importante (evitando el arrastre con una diafragma separador en la salida del vapor). Además, se debe considerar que este equipo por una falla del sistema puede llegar a quedar con la presión de la caldera, por lo que debe de tener un buena válvula de alivio, que limite su presión de trabajo. Se debe considerar, que por tener condensados y gases corrosivos, el espesor del material de su construcción debe ser previsto un espesor para corrosión y un factor de seguridad por sobre presión (aconsejándose hacer una prueba hidráulica con 11/2 la misma presión del sistema en alta). La trampa ideal es la de flotador, dejando un espejo de agua para mantener el equilibrio interno del vapor saturado. Luego haciendo control de espesores en la parte baja, especialmente en la fluctuación del nivel de agua, cada tantos años de uso.

La recuparación del vapor de "flash" por medio de un circuito de baja presión de vapor, permite en parte recuperar dicho vapor.



En general:

Para tener el máximo de EFICIENCIA en el aprovechamiento del calor:

1-debemos de reducir las purgas al mínimo y recuperar su calor. Pero las purgas deben bien estudiadas, ya que la falta de purga puede ser un factor desencadenante hasta de una “tragedia” o tan simple como bajar la calidad del vapor para un determinado proceso.

2-Recuperar el máximo de condensado de retorno, buscando para ello el aprovechamiento de todo intercambio que recupere el condensado y si se produce vapor de “flash”, tratar el de recuperar el vapor de “flash” en usos en que se pueda aprovechar su calor y su agua destilada.

La purga más eficiente en recuperar el calor son las **purgas “continuas”** (que generalmente lo que hacen es sacar las sales en exceso del interior de la caldera, cualquiera sean éstas, las que aumentan la salinidad de la caldera, el PH, la sílice, etc.).

Las purgas de fondo y de nivel son imprescindibles en una caldera, ya que las purgas de fondo sacan sales, pero su **función principal es sacar los barros** de la parte inferior de la caldera. Las **purgas de nivel**, si bien **sacan sales y barros** del interior de los

niveles, su función principal es también **comprobar que el quemador apaga por bajo nivel**.

Tanto la purga de fondo como de nivel, por ser alternativas e instantáneas, dificultan la recuperación del calor y el vapor de “flash” del agua caliente que se saca de la caldera.
Además las purgas de fondo, si bien parecen sacar grandes cantidades de agua, no es tan así. Ejemplo , si purgamos unos 20 mm. de altura de nivel, el volumen de agua de una caldera de 5.000 Kg./hora de vapor es aproximado a 16 x 35 x 0,2 = **112 Ltrs. de agua de caldera por purga** (esta cantidad muchas veces es totalmente insuficiente si hay que sacar mucha agua para purgar las sales) **y además, en general es difícil purgar de fondo si la caldera no tiene momentos adecuado para ello** (la caldera deberá estar con el quemador apagado ó en una condición de combustión mínima, para no alterar la circulación interna y provocar un recalentamiento local, **la purga continua no tiene este problema**).

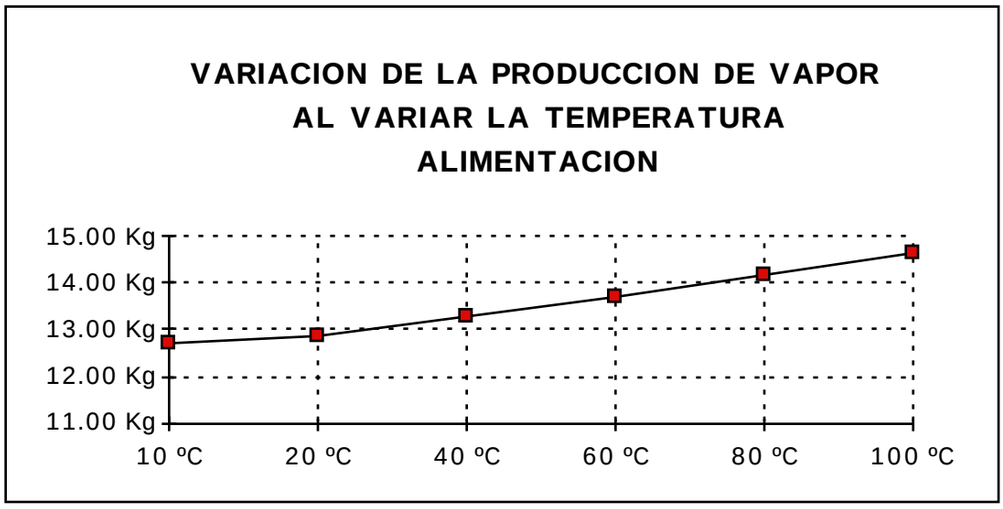
Las purgas de nivel, necesarias y reglamentarias, por lo general no tiran más de 20-40 Ltrs. por purga. Casi que no se podría considerar esta cantidad, ya que es necesario purgar no menos de una vez por turno (lo correcto sería cada 4 horas), **pero una caldera en marcha al purgar los niveles se apaga, alterando la presión de trabajo al apagarse la caldera, y esto puede afectar el proceso, por lo que no se hacen estas purgas más que lo necesario.** En algunas circunstancias, frente a este grave problema, se puede poner una “botonera” que elimine la acción de apagado del quemador (sin eliminar todos los elementos que indican la falta de nivel, alarma sonora y lumínica) pero esta “botonera” solamente podrá accionar mientras alguien la tiene “apretada” , de manera que **bajo ninguna circunstancia pueda quedar eliminando el control de nivel su acción de corte del quemador frente a un bajo nivel de agua real**.

3-Trabajar con el máximo de temperatura en el tanque de alimentación de agua, esto tiene varios beneficios.

Si el agua fría de reposición no se calienta, todo el oxígeno que trae el agua, será alimentado a la caldera, con el consiguiente perjuicio que este oxígeno ocasiona, como la corrosión o la **aceleración** de la corrosión por CO2 (anhídrido carbónico, el oxígeno acelera su efecto corrosivo) **o de lo contrario un gran consumo de productos secuestrantes de oxígeno.** (al alimentar próximo a los 100ºC, el aire que trae el agua se expulsa casi en un 90%). **Pero hay otro beneficio operativo,** la caldera tiene **más rápida respuesta a los cambios de consumo**, ya que al aumentar el consumo en forma rápida, al alimentar el agua con un calor próximo al 20% del necesario para su vaporización, **se logra más rápidamente la respuesta** de la caldera al cambio.
Esto también “agranda” la caldera en su capacidad de producción o sea, que produce más vapor con el mismo combustible (siempre que el calor del agua salga de recuperaciones de calor, tanto del condensado, vapor de “flash” o recuperadores de los gases de chimenea:economizadores).

Pero, si este calor proviene de recuperaciones y no de inyecciones de vapor (o serpentín), **se logra una mayor economía en la producción de vapor** (o Eficiencia de generación, que no es lo mismo que decir una mejor Eficiencia Total en la caldera, pero sí en la generación, ya que aumentan los Kg. de vapor generados por Kg. de combustible). Es decir que por cada Kg. de F. Oíl para una determinada capacidad de marcha de la caldera, se produce una **mayor cantidad de vapor.** Veamos una gráfica al respecto, en el cual se indica la **variación de los Kg. de vapor por Kg. de F.Oíl** (en una caldera con exceso de aire normal, vapor a 10 Kg/cm2, con capacidad aprox. del 80% de su marcha) **al variar la temperatura del agua de alimentación**.

Modulo 9-MEJORANDO LA EFICIENCIA



El calentar el agua de alimentación con la recuperación de condensados y vapor de “flash”, es un ahorro muy importante de combustible, pero además de disponer los medios para provocar esta recuperación, debemos de tener el sistema de alimentación de agua a la caldera, adecuado para alimentar a 100ºC, evitando la cavitación de las bombas de alimentación.

Las bombas deben ser adecuadas para el uso con agua caliente (100ºC), los tanques de alimentación deben tener suficiente altura para evitar la cavitación (unos **5 m.** sobre la posición de las bombas), **además toda la cañería de succión de las bombas deben ser “trazadas” y confeccionadas adecuadamente, para evitar toda pérdida de carga que pueda provocar una cavitación** (esto significa un buen diámetro de cañería, curvas en vez de codos, filtros generosos, válvula de pase total y baja pérdida de carga, toma sobre el tanque con cono de entrada, etc.)**.**

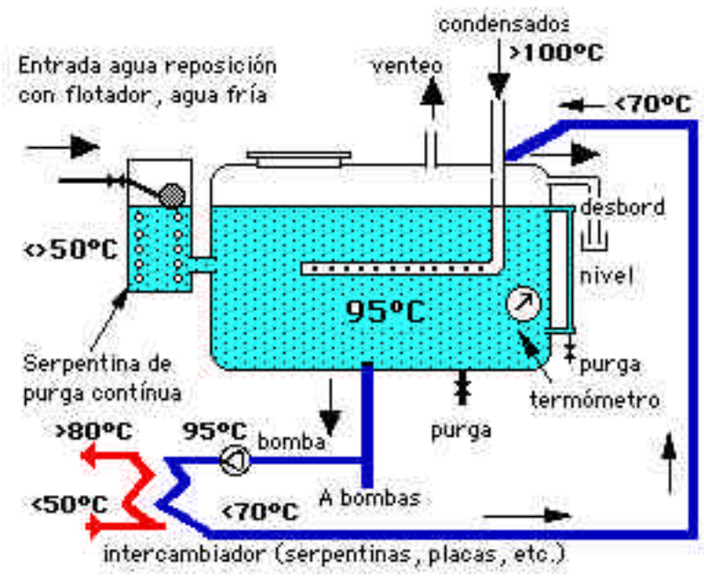
La recuperación del “flash” del condensado y la recuperación del calor de la purga continua, se puede hacer de varias maneras, hay una manera muy simple, que voy ha describir:

Para intercambiar el calor de la purga continua se necesita **un salto térmico lo mayor posible** (es decir, que quien reciba el calor), sea un fluido de baja temperatura, como ser **el agua de reposición**. Para ello diseñaremos **un tanque con doble sección**, un agua de reposición fría para el intercambio de la purga continua (que luego pasa al tanque de mezcla con el condensado y que además se puede calefaccionar o enfriar para recibir el vapor de “flash”).

Para la recuperación del vapor de “flash” en forma sencilla, necesitaremos que el fluido, la misma agua de alimentación **esté por debajo de los 100ºC** (temperatura de ebullición del agua en contacto con la atmósfera), para ello puede ser suficiente la mezcla del agua de reposición en una zona del tanque de alimentación en donde se mezclan los condensados de retorno y el agua de reposición, **pero si el agua de mezcla, ya está llegando a los 100ºC, tenemos dos opciones, o dejar que el exceso de vapor de “flash” se ventee a la atmósfera** (se pierde calor y agua) **o tratar de enfriar esta agua de alimentación por medio de circuito que caliente un fluido cuya temperatura esté por debajo, aprovechando este calor** (como ser agua caliente para proceso, baños, calefacción, aire, etc.), **utilizando una bomba de circulación que tome del tanque de alimentación, envíe el agua caliente, que intercambia en donde sea necesario y vuelve al tanque de agua caliente. Veamos un croquis:**

Modulo 9-MEJORANDO LA EFICIENCIA

El vapor de "flash" se puede recuperar de varias formas, siendo la más sencilla, la recuperación en el propio tanque de alimentación. Cuando la temperatura del tanque ya es alta, se puede utilizar este calor en un circuito auxiliar.



Descripción del funcionamiento:

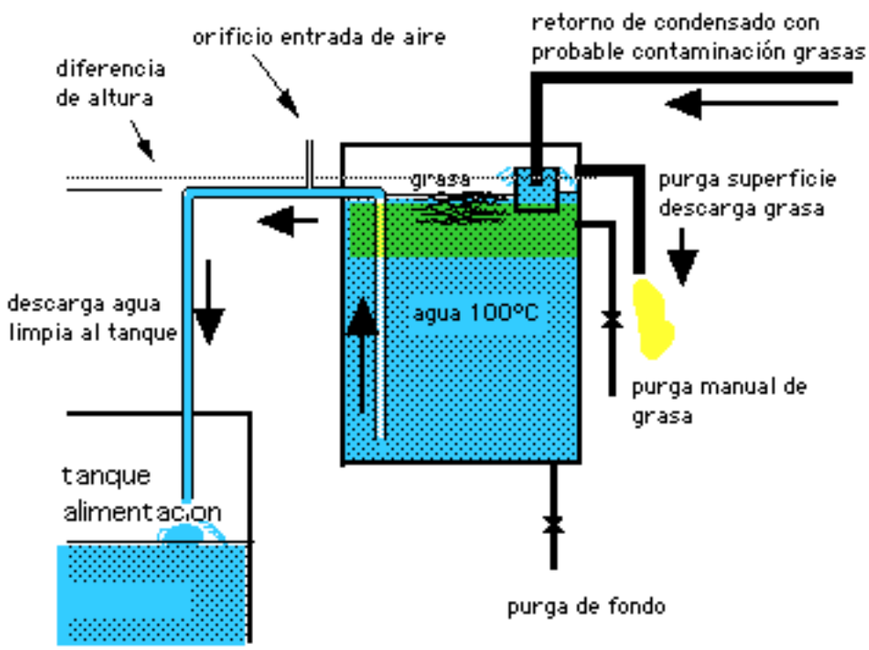
El agua fría de reposición **entra** a un relativamente pequeño tanque separado del tanque de alimentación con suficiente reserva, en **forma modulada por un flotador** (u otra válvula, pero que **module**, para que siempre haya agua relativamente más fría entrando permanentemente), en este tanque auxiliar está un serpentÍn de intercambio de la purga continua, que estará en relación a la cantidad de purga horaria. El agua por vaso comunicante entra al tanque principal y de reserva, en donde **los condensados “barbotan” por debajo del nivel del agua** (los condensados con sobre-temperatura o vapor de “flash”, se enfrían o condensa el vapor en esta agua supuestamente por debajo de los 100ºC, si la temperatura del tanque es muy alta > 100ºC, el vapor sobrante escapa a la atmósfera). **En el caso que el vapor de “flash” fuera excesivo** (puede ser de momento al haber trampas en mal estado o mal elegidas), **para recuperar este exceso de “flash”, podemos enfriar el agua del tanque de reserva, por medio de una bomba de circulación con un intercambiador** (de serpentina, placas, etc. pero que no se contamine con el otro fluido), **que calienta un fluido de menor temperatura** (agua caliente para servicio o proceso, calefacción, aire caliente, etc.), **esta agua relativamente más fría, la mezclamos en el caño de entrada de condensados calientes** (este caño de condensados calientes, convendrá que sea de acero inoxidable).

Sin embargo, <u>la purga continua</u> con un simple intercambiador se puede utilizar para calentar el agua de alimentación u otro servicio en donde se utilice calor y el diferencial de temperatura lo permita (aunque aquí, la instalación será de mayor costo, ya que involucra otros elementos de manejo y control, además, debiendo tener cuidado que la purga continua de la caldera, al ser regulada a la salida, su presión y temperatura será la de la caldera).

Otra ventaja al sistema anterior (tanque separado)**, puede ser :** “tirar” la purga continua ya fría (menos de 60ºC) en un embudo de observación, lo que permite un control sobre la misma (la medida con un “jarro”), de manera de saber los litros que estamos tirando por minuto, lo cual mejora el control del foguista y de los supervisores, **ya que la purga continua en la mayoría de los casos es de fundamental importancia** (reposición de aguas de pozos, baja recuperación de condensados, etc.).

Cuando se deba recuperar condensados con probables contaminación con grasas

(caso de chacinerías, mataderos, frigoríficos, etc.) **en donde hay gran riesgo de introducir grasa en la caldera, se debe hacer un sistema de separación de la grasa** (más liviana y todavía líquida al estar a 100ºC). Un ejemplo lo damos en el croquis siguiente:



RECUPERACION DE CONDENSADO (CHACINERIAS)

El sistema superior, la grasa líquida, “flota” sobre el condensado caliente a 100ºC, el agua limpia sale por la parte inferior, de manera que la grasa “liquida” se va acumulando hasta llegar al nivel de descarga (por ello la diferencia de altura entre el caño de salida de agua limpia y la salida de grasa, debe ser muy pequeña, además debe haber un orificio que evita el cebado del caño de agua limpia, para evitar el vaciado del tanque y el arrastre de la grasa por abajo).

Cuando el condensado esté sumamente contaminado, lo que se puede hacer, es intercambiar el calor del condensado con el agua fría de reposición (sin entrar en contacto directo) **de manera de no perder el calor, quedando como pérdida el valor del agua como agua si fuera pura.** Para ello usar el mismo principio que hemos puesto en el croquis de recuperación de la purga continua, es decir, una zona de agua fría de reposición para intercambiar mejor con el agua caliente del condensado. Si ya en el tanque de alimentación, sobra calor para mantenerlo próximo a los 100ºC, debemos de buscar la forma de utilizar el intercambio del condensado contaminado para calentar otros usos (agua caliente para baños, lavados, etc.). **Lo ideal son los intercambiadores de “placa” de muy pequeño tamaño y con una gran capacidad de intercambio por m2** (dada la forma y velocidad de los fluidos entre las placas, que por lo general son de acero inoxidable u otros metales nobles, su capacidad de intercambio por m2. supera varias veces lo que se puede lograr en intercambiadores comunes de “shell” o sea placa y tubos. Además estos intercambiadores en muchos caso o la mayoría son desarmables para la limpieza mecánica entre placas, aunque normalmente se limpian por procedimientos químicos cuando se calientan líquidos que dejan residuos tipo incrustaciones duras o barrosas).

Los calentadores de combustibles (F. Oíl u otros), es conveniente no recuperar el agua de condensado, es muy peligroso para la caldera y muy difícil de limpiar la caldera contaminada.